

インクジェットを用いた熱電変換モジュールの開発

電子情報部 再生可能エネルギー技術開発PJ室 ○豊田丈紫 嶋田一裕 橋泰至

1. 目的

再生可能エネルギーは環境への負荷が少なく資源が枯渇しないエネルギーであり、太陽光発電は想定を上回るペースで導入が進んでいる。しかしながら、現状ではコストが割高であることに加えて出力の不安定性による送電網への影響から導入制限が実施されるなどの課題も生まれている。このような状況の中、地熱などの「自然熱」や産業分野からの「廃熱」は水力発電と同様に安定した発電が可能な技術として注目されるようになってきている。

熱電発電は、温度が低く小規模な熱源からも効率良く発電できることから、これらの熱からの有力な発電技術として実用化が期待されている。熱電発電とは、2種類の熱電材料で構成される熱電素子の両端に温度差をつけることで熱起電力が発生する「ゼーベック効果」の原理を利用した発電方法である(図1)。当场では、熱源の規模に合わせて熱電素子の形や大きさを自由に形成するため、インクジェット印刷技術を活用した熱電変換素子の製造技術について開発を行ってきた。本報告では、発電効率の高いビスマステル(BiTe)系金属粉末の熱電材料をインク原料とした低コスト熱電変換モジュールの製造技術を紹介する。

2. 内容

2.1 インクの調整

インク原料としては、イオン化した原料を用いる場合と合成済み材料を微粉末化して用いる場合の2種類に大別される。本研究では、ホットプレス法により作製したp型($\text{Bi}_{0.3}\text{Sb}_{1.7}\text{Te}_3$)とn型(Bi_2Te_3)のBiTe系金属粉末(株豊島製作所製 #200以下)を原料とした。インクジェットノズル中での目詰まりを防止するため、遊星ボールミルを用い、6時間の粉砕処理を行うことで粒度を調整した。その結果、p型、n型ともに最大粒子径が $20\mu\text{m}$ 以下となる微粉末が得られた。

次に本試料を用いてインクジェット用インクの設計・試作について検討を行った。50%超の熱電粉末含有率を持つインクを試作するため、沈降防止と良分散性に有効な有機溶媒系のインクの試作を試みた。インク吐出後の整形性や素子と基板との密着性について検証を行い、スチレン樹脂を含有する重合体を主溶剤として用いた。また、分散性と流動性の調整のため界面活性剤を5wt%添加した。これを軟膏容器中で混ぜ合わせた後に自転公転

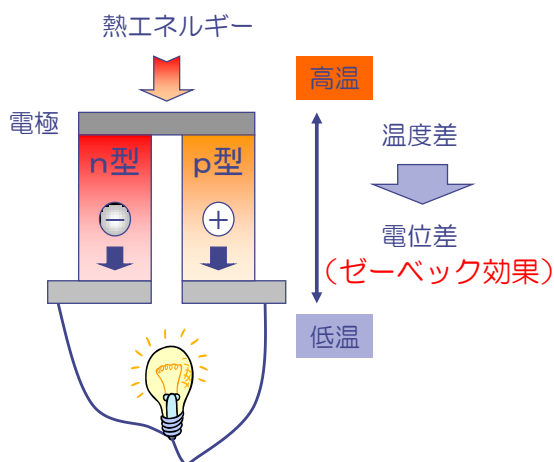


図1 熱電発電の原理

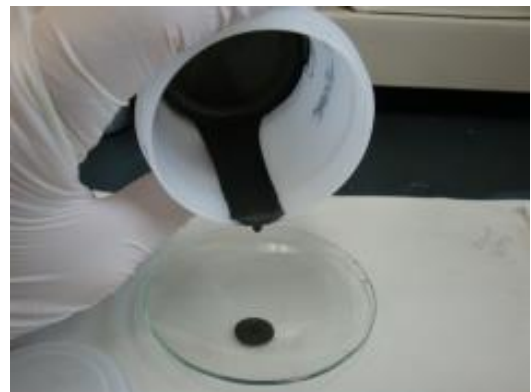


図2 開発した熱電インク

式混錬機(株シンキー製 ARE310)にセットし、2000rpm の速度にて 5 分間攪拌処理した。処理後の混合体は、粉末の凝集や相分離等は見られず、均一なインク試料が得られた(図 2)。

2.2 インクジェットによる回路形成

開発した p 型と n 型の熱電インクを用いて熱電回路の形成を実施した。図 3 に本研究で用いたインクジェット印刷機(武蔵エンジニアリング(株)製 AeroJet)を示す。本装置はダブルノズル方式を採用しており、2 種類の素子を決められた電極上に交互に印刷することが可能である。

図 4 に 32 対の熱電変換モジュールの製造工程と試作したモジュールの外観を示す。熱電粉末の密着性を向上させるためにインクジェット印刷後に素子の加圧処理を行った。また、酸化防止を目的として不活性雰囲気による熱処理を行い、樹脂成分の除去と素子の焼付処理を行うことで高い熱電特性を発現させることができた。

試作したモジュールの発電特性を発電効率特性評価装置(アルバック理工(株)製 PEM-2)で測定したところ、水蒸気からの発電を想定した 100℃ の温度差において最高 0.44W の出力が得られた(図 5)。これは、1m²あたり約 480W となり、市販の太陽電池パネルの出力密度と比較して 2 倍以上に相当する。また、製造工程の省力化が可能なインクジェット印刷は複数の素子使って回路を形成する熱電変換モジュールの製造工程の低コスト化に有効である。

3. 結果

ビスマステルル(BiTe)系金属粉末を用いたインクの試作を実施し、50%超の高含有率の最適配合条件を求めた。また、インクジェット印刷機を用いて 32 対の熱電変換モジュールを試作するとともに温度差 100℃ のときの発電性能を評価したところ、0.44W の出力が得られた。これにより、10cm 四方の大きさの本モジュールを使うことで、例えば水蒸気などの 100℃ の廃熱からでも携帯型充電器と同等の発電性能を持つ機器等が実現でき、応用が期待される。

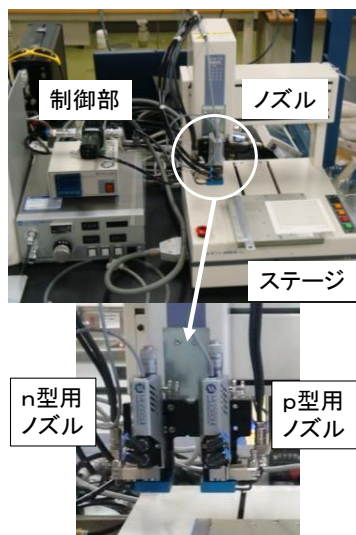
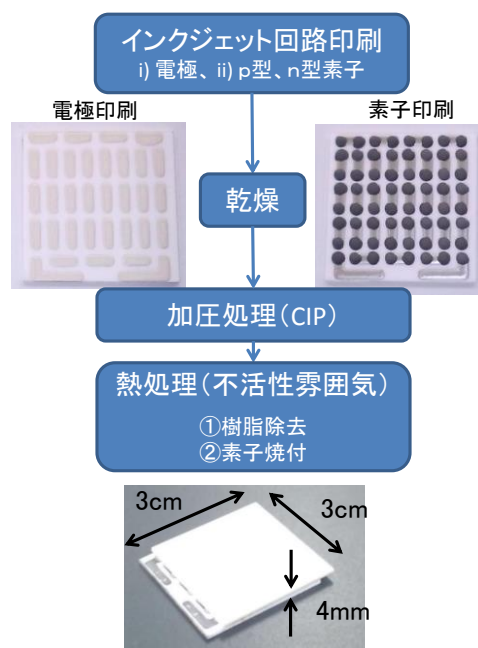


図 3 インクジェット印刷装置の外観



試作モジュール(32対)

図 4 熱電変換モジュールの製造方法

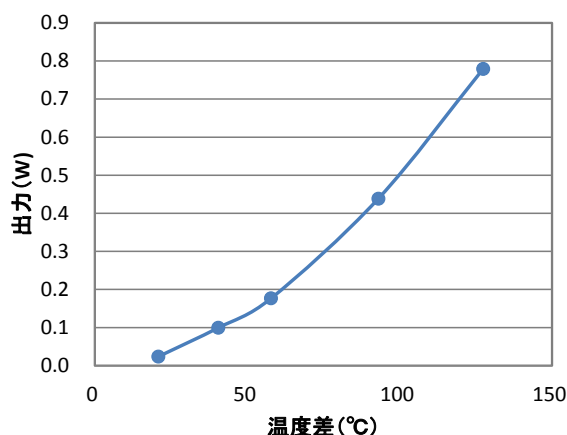


図 5 試作モジュールの発電特性